



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 26 351 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 197 26 351.8
㉔ Anmeldetag: 21. 6. 97
㉕ Offenlegungstag: 14. 1. 99

⑤ Int. Cl.⁶:
H 02 K 7/09
H 02 K 3/18
H 02 K 1/00
H 02 K 17/16
H 02 K 21/00
H 02 K 19/06
H 02 P 7/00

DE 197 26 351 A 1

㉑ Anmelder:
Amrhein, Wolfgang, Dr., 63762 Großostheim, DE

㉒ Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤ Magnetgelagerter elektrischer Antrieb mit integriertem Wicklungssystem

DE 197 26 351 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf einen magnetgelagerten elektrischen Antrieb, bestehend aus einer magnetgelagerten elektrischen Maschine mit im Stator eingebrachten Wicklungen für die Momenten- und Tragkraftbildung und einer analogen oder digitalen Elektronik zur Steuerung, Regelung, Überwachung und Speisung der magnetgelagerten Maschine nach dem Oberbegriff der Patentansprüche 1 und 10.

Die Magnetlagertechnik erschließt Applikationsfelder des Maschinen- und Gerätebaus mit äußerst hohen Anforderungen an den Drehzahlbereich, die Lebensdauer, die Reinheit und die Dichtigkeit des Antriebssystems – also im wesentlichen Anwendungsgebiete, die unter Verwendung konventioneller Lagertechniken nicht oder nur schwer realisierbar sind. Verschiedene Ausführungen, wie beispielsweise Hochgeschwindigkeitsfräs- und Schleifspindeln, Turbo-kompressoren, Vakuumpumpen, oder Pumpen für hochreine chemische oder medizinische Erzeugnisse werden bereits mit Magnetlagern ausgerüstet.

Eine konventionelle magnetgelagerte elektrische Maschine (Fig. 1) benötigt neben einer Maschineneinheit (1) zwei Radial-Magnetlager (2), (3), ein Axial-Magnetlager (4), zwei mechanische Auflager (5), (6) sowie für die Ansteuerung der Motor- und Magnetlagerstränge insgesamt zehn Leistungssteller (7), (8), (9), (10).

In der Literatur gibt es Vorschläge (Fig. 2), Maschine und Radialmagnetlager in einer magnetischen Statoreinheit zu integrieren. In einem Stator sind zwei getrennte Wicklungssysteme (11), (12) für die Drehmoment- und Tragkraftwicklung mehrlagig in Nuten eingebracht. Beide Wicklungssysteme sind dreisträngig und unterscheiden sich in der Polpaarzahl um eins. Die Spulen sind geschönt und über mehrere Nuten verteilt.

4-polige Maschinenwicklung (11)(außen): Strang 1 (13), Strang 2 (14), Strang 3 (15) 2-polige Tragwicklung (12)(innen): Strang 1 (16), Strang 2 (17), Strang 3 (18)

In Applikationen die keine achsenstarre Rotorführung erfordern, wie beispielsweise in Ventilatoren, Lüftern, Pumpen oder Mischern kann in der integrierten Maschinen-Magnetlagerausführung das Axial-Magnetlager sowie das zweite Radial-Magnetlager entfallen. Voraussetzung hierfür ist eine scheibenförmige Ausführung des Rotors mit einer gegenüber dem Rotordurchmesser kleinen Längenabmessung. Über den magnetischen Zug (41) zwischen Stator (39) und Rotor (40) läßt sich somit eine passive Stabilisierung der Rotorlage in axialer Richtung und den Kipprichtungen erzielen (Fig. 11).

In vielen Fällen stehen jedoch dem technischen Einsatz der Magnetlagerung der aufwendige Systemaufbau und damit die hohen Herstellkosten im Wege.

Die durch die Erfindung zu lösende Aufgabe besteht daher in der Vereinfachung des mechanischen Aufbaus der Maschinen- und Magnetlagereinheit unter Berücksichtigung der hierfür geeigneten elektronischen Ansteuerung.

Die erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe geht aus der Kennzeichnung der Patentansprüche 1 und 10 hervor. Bevorzugte Ausführungsvarianten sind durch die abhängigen Ansprüche definiert.

Von besonderem Vorteil bei der erfindungsgemäßen Lösung des Problems ist der wesentlich vereinfachte Stator- bzw. Aktor- und Wicklungsaufbau der magnetgelagerten Maschine gegenüber bisher bekannten Lösungen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind nachstehend anhand der Zeichnungen erläutert.

Fig. 3 zeigt eine Ausführungsform einer integrierten Ma-

schinen-Magnetlager-Einheit. Die Funktionen der Drehmoment- und Tragkraftbildung sind in dieser Anordnung in einem Wicklungssystem integriert.

Die Maschine kann abhängig von der Applikation als Motor oder als Generator betrieben werden.

Der Stator der magnetgelagerten Maschine aus Fig. 3 wird aus einem Blechschnitt (19) mit vier ausgeprägten Polen (20), (21), (22), (23) und vier konzentrierten Teilwicklungen (24), (25), (26), (27) gebildet. Die Wicklungsspulen eines Stranges sind im Gegensatz zur Ausführung in Fig. 2 nicht über mehrere Nuten verteilt. Eine Sehnung zur Reduktion des Oberschwingungsgehaltes von Spannung und Strom ist in dem Blechschnitt (19) nicht vorgesehen, könnte aber durch Verkürzen der Polweiten (28) erfolgen. Bei starker Sehnung ist es unter Umständen für den Maschinenrundlauf günstig, die durch Verkürzen der Polweite entstehende große Nutlücke (29) mit einem ferromagnetischen Hilfspol, der ohne Wicklung bleiben kann, weitgehend zu schließen. Eine sinusförmige Flußverketzung kann auch über eine Verteilung der Spulen erreicht werden. Im Unterschied zu den bisher bekannten Ausführungen von magnetgelagerten Antrieben sind die Spulen (57), (58) und (59), (60) jedoch, wie z. B. in Fig. 15 dargestellt, zu Einzelpolwicklungen (55) bzw. (56) und nicht, wie beispielsweise in der Darstellung nach Fig. 2, zu Mehrpolwicklungen mit wechselnder Polarität zusammengeschaltet. Die Einzelpolwicklungen (55) bzw. (56) sind mit eigenem Elektronikan-schluß (53a), (53b) bzw. (54a), (54b) versehen.

Im Gegensatz zur Ausführung in Fig. 2 gibt es keine getrennte Momenten- und Tragwicklung. Jede der vier Teilwicklungen (24), (25), (26), (27) ist sowohl für die Momentenbildung als auch für die Tragkraftbildung zuständig. Die Realisierung beider Funktionen kann über eine entsprechende Stromspeisung mit drei in den Teilwicklungen überlagerten Stromkomponenten erfolgen:

- Stromkomponente 1 (Maschinenbetrieb) für die Erzeugung eines vierpoligen Wechselfeldes,
- Stromkomponenten 2 und 3 (Magnetlagerbetrieb) für die Erzeugung eines zweipoligen Drehfeldes.

Fig. 4, Fig. 5 und Fig. 6 zeigen diese Komponenten in Einzeldarstellung für einen beliebig gewählten Betriebszustand der magnetgelagerten Maschine. Die Strombeläge der acht Teilwicklungsquerschnitte sind innerhalb einer Figur betragsmäßig gleich. Ebenso sind die Stromrichtungen in den Einzelpolwicklungen innerhalb einer Figur zueinander festgelegt. Bei Änderung des Vorzeichens der Stromkomponente ändert sich somit die Stromrichtung in allen Teilwicklungsquerschnitten einer Figur. Die Amplitude und das Vorzeichen jeder Stromkomponente ist frei und unabhängig von den anderen Stromkomponenten einstellbar.

Eine Variation der Stromkomponente 1 führt daher, wie Fig. 4 verdeutlicht, zur Einstellung der Amplitude und Richtung eines vierpoligen Wechselfeldes. Dieses steht in Wechselwirkung mit dem vierpoligen Rotor und erzeugt ein Drehmoment.

In Fig. 5 ist die Richtung der Stromkomponente 2 dargestellt. Man erkennt, daß die Teilwicklungsquerschnitte 24a und 27b sowie 25b und 26a sich innerhalb einer Nut gegenseitig aufheben. Die verbleibenden Teilwicklungsquerschnitte 24b und 25a sowie 26b und 27a wirken somit wie ein Strang einer zweipoligen Wicklung.

Fig. 6 zeigt die Richtung der Stromkomponente 3. Die Verteilung des Strombelages erfolgt in der gleichen Art wie in Fig. 5, jedoch um 90 Grad gedreht. Mit den Stromkomponenten 2 und 3 läßt sich somit ein zweipoliges Drehfeld aufbauen und die Tragkraft in Betrag und Richtung durch Wahl

der Amplitude und Phasenlage der beiden Stromkomponenten einstellen.

Die Bestimmung der einzelnen Stromkomponenten erfolgt unter Beachtung der Sollgrößenvorgabe für Rotorlage und Drehzahl, Rotordrehwinkel oder Drehmoment nach Auswertung der Sensorsignale für Rotorlage und -drehwinkel mittels einer Analogschaltung oder einer schnellen Rechneinheit. Die Signale der Stromkomponenten werden wicklungsbezogen überlagert, mittels einer Leistungselektronik verstärkt und den vier Teilwicklungen (24), (25), (26), (27) über getaktete Schalter oder analoge Leistungsverstärker zugeführt. Eine mögliche Brückenschaltung ist in Fig. 7 angegeben.

Anstelle einer Stromeinprägung kann auch unter Berücksichtigung der Charakteristik der Regelstrecke eine Spannungseinprägung erfolgen.

In Fig. 8 ist eine Variante der Schaltung aus Fig. 7 dargestellt, in der auf eine Halbbrücke und eine Strommeßvorrichtung verzichtet wurde. Der Strom i_{27} in Wicklung 27 entsteht aufgrund der Strombedingung $i_{24} + i_{25} + i_{26} + i_{27} = 0$ im Stromknoten A infolge der Einprägung der Ströme i_{24} , i_{25} , i_{26} .

Fig. 9 zeigt eine wicklungstechnische Variante mit drei Strängen, bei der jeder Stromkomponente ein eigener Strang (Maschinenstrang: 30a, 30b, 31a, 31b, 32a, 32b, 33a, 33b; Magnetlagerstrang 1: 34a, 34b, 35a, 35b; Magnetlagerstrang 2: 36a, 36b, 37a, 37b) zugeordnet ist, wobei die Spulen eines Stranges seriell oder parallel verschaltet sein können. Die Überlagerung findet also nicht wie in Fig. 3 auf der Stromebene, sondern auf der Strombelags- bzw. Feldebene statt. Die Lage der einzelnen Strangspulen geht aus den Betrachtungen zu den Fig. 4 bis 6 hervor. Die Wicklungsanordnung von Fig. 9 ist in der Herstellung aufwendiger als die Wicklungsanordnung aus Fig. 3, erfordert jedoch nur die elektrische Ansteuerung von drei anstelle von vier Strängen. Welche Anordnung aus wirtschaftlicher Sicht günstiger ist, ist von Fall zu Fall abzuwägen. Von technischem Interesse ist unter Umständen in der Anordnung aus Fig. 3 die Möglichkeit, die Gewichtung zwischen den Stromkomponenten 1 und 2, 3 frei zuordnen zu können. So kann beispielsweise bei einer im Leerlauf befindlichen Maschine der gesamte zur Verfügung stehende Wicklungsquerschnitt nahezu zur Gänze zur Tragkraftbildung herangezogen werden. In einer Wicklungsanordnung nach Fig. 9 ist eine solche freie Zuordnung, wie nachfolgendes Beispiel verdeutlicht, nicht möglich. Auch wenn die Maschinenwicklung nahezu keinen Strom führt, ist deren Leiterquerschnitt für die Tragkraftbildung nicht nutzbar.

Die Rotorart der Maschine kann im Prinzip frei gewählt werden, insbesondere dann, wenn der Maschinenbetrieb über ein Drehfeld anstelle eines Wechselfeldes erfolgt. Verwendbar sind beispielsweise Permanentmagnetmotoren, Kurzschlußkäfigmotoren, Rotoren mit einer elektrisch hochleitfähigen Metallummantelung anstelle des Kurzschlußkäfigs oder Reluktanzmotoren mit winkelabhängigen Luftspaltänderungen.

Wird für die Anordnung nach Fig. 3 ein vierpoliger Permanentmagnetmotor herangezogen, so ergeben sich, wie Berechnungen zeigen, bei radialer Magnetisierung aufgrund des Oberwellengehaltes des Luftspaltfeldes bei Betrieb mit sinusförmigen Strömen winkelabhängige Kraftschwankungen (42) (Fig. 12) sowie geringe Kopplungen zwischen der Drehmomenterzeugung und der Tragkraftbildung. Der Einfluß der winkelabhängigen Kraftschwankungen und unter Umständen auch der Einfluß der Kopplung müssen bei der Auslegung der elektronischen Schaltung berücksichtigt werden. Diese Effekte treten jedoch nicht auf, wenn die Magnetisierung des Magneten, die Geometrie von Rotor und

Stator oder die Wicklungsdehnung bzw. -verteilung so gewählt wird, daß eine sinusförmige Luftspaltflußdichteverteilung bzw. Flußverteilung entsteht. Ein Beispiel hierfür ist in Fig. 17 angeführt. Durch die Formgebung der Magnetsegmente 82 entsteht zwischen dem Rotor 85 und der Statoroberfläche 84 ein winkelabhängiger Luftspalt. Es ergibt sich bei der gezeigten Anordnung eine sinusförmige Flußdichteverteilung. Mit Position 83 ist der ferromagnetische Rückschluß bezeichnet.

Da in der magnetelagerten Maschine aus Fig. 3 bzw. Fig. 9 für den Maschinenbetrieb nur ein Wechselfeld zur Verfügung steht, ist zum Zeitpunkt des Anlaufes gegebenenfalls ein Hilfsmoment zur Überwindung der Totzone bereitzustellen. Dies kann beispielsweise durch einen unsymmetrischen Blechschnitt (38) im Bereich der Wicklungspole erfolgen (Fig. 10). Eine weitere Lösungsvorschlag (Fig. 13) sieht einen oder mehrere axial oder radial zum Rotor angebrachte Hilfsmagnete (43) vor, die beispielsweise den vierpoligen Permanentmagnetmotor (50) aufgrund ihrer Zugkraft beim Starten in eine günstige Ausgangsposition ϕ (44) bringen. In der Stellung (45) der Magnetpolgrenze wäre das Startmoment bei beliebig hohem Strom null. Mit den Positionen (46), (47), (48) und (49) sind die Wicklungspole angedeutet. Um die Zugkraft zu unterstützen, können die Hilfsmagnete zusätzlich mit einem Eisenrückschluß versehen werden.

Eine Veränderung der Magnetpolage könnte auch durch ein vom Magnetlagerteil gesteuertes Abwälzen des Rotors (66) an der Luftspaltstirnseite der Statorpole (65) bewirkt werden (Fig. 16). Infolge der unterschiedlichen Durchmesser ergibt sich beim Abwälzen eine wachsende Winkelverschiebung zwischen Magnet- und Statorpolen, so daß der Rotor aus der Totzone, in der eine Drehmomententwicklung nicht möglich ist, herausgedreht werden kann. Mit Position (67) ist die Mittelpunktswegung des Rotors während des Abwälzens dargestellt. Es kann erforderlich sein, am Umfang des Rotors und/oder Stators eine Vorrichtung zur Verhinderung eines Gleitens zwischen Rotor und Stator während der Abwälzbewegung vorzusehen (z. B. Verwendung von Werkstoffen mit hohen Reibwerten, Aufrauhern der Oberflächen, Verzahnung, etc.).

Eine weitere Lösungsvorschlag ist in Fig. 14 dargestellt. Die Statorpole sind einseitig mit einem Kurzschlußring (51) versehen, so daß sich aufgrund der Kurzschlußströme anstelle des Wechselfeldes ein stark elliptisches Drehfeld im Luftspalt ergibt.

In den Fig. 3, 4, 5, 6, 9, 10, 13, 14 und 16 wurden jeweils magnetelagerte Maschinen mit Innenläufer dargestellt. Es besteht auch die Möglichkeit, die magnetelagerte Maschine in Außenläuferausführung zu betreiben. Hierzu ist der Rotor als Ring oder Glocke auszuführen, die Statorpole zeigen nach außen.

Die Fig. 3, 4, 5, 6, 9, 10, 13, 14 und 16 sind auch bezüglich der Polpaarzahl für die Drehmoment- und Tragkraftbildung sowie bezüglich der Strangzahl als beispielhaft zu sehen. Es lassen sich veränderte Polpaarzahlen realisieren, wobei zwischen der Polpaarzahl p_M für den Maschinenbetrieb und der Polpaarzahl p_{ML} für den Magnetlagerbetrieb die Beziehung $p_M = p_{ML} \pm 1$ erfüllt sein muß. Durch Erweiterung der Strangzahl sowie der Anzahl Brückenzeile in der Leistungselektronik läßt sich auch anstelle der Wechselfeldmaschine eine Drehfeldmaschine in den magnetelagerten Antrieb integrieren.

Ebenso kann die Maschine nicht nur wie bereits gezeigt als Rotationsantrieb sondern auch als Linearantrieb ausgeführt sein. Im zweiten Falle wird über die Maschinenwicklung kein Moment, sondern eine Vortriebskraft erzeugt. Bei der Realisierung als Linearantrieb mit beschränktem Stell-

weg ist es unter Umständen günstiger, die in den Patentansprüchen angeführten Einzelpolwicklungen nicht im Stator, sondern im Aktor, dem bewegten Teil, anzubringen. Der Stator würde in diesem Fall die Elemente des Rotors, wie beispielsweise Permanentmagnete, eine Kurzschlußwicklung, eine elektrisch hochleitfähige Metallschiene oder einen Reluktanzschnitt tragen. Gleiches gilt auch für den Rotationsantrieb mit beschränktem Stellweg.

Patentansprüche

1. Elektrischer Antrieb, bestehend aus einer magnetgelagerten elektrischen Maschine mit im Stator oder Aktor eingebrachten Wicklungen für die Drehmoment- (bei Linearmaschinen: Vortriebskraft-) und Tragkraftbildung und einer analogen oder digitalen Elektronik zur Steuerung, Regelung, Überwachung und Speisung der magnetgelagerten Maschine, **dadurch gekennzeichnet**, daß die magnetgelagerte Maschine im Stator oder Aktor mit Wicklungen (24), (25), (26), (27) ausgestattet ist, die sowohl zur Erzeugung der Tragkraft als auch zur Erzeugung des Drehmomentes (bei Linearmaschinen: der Vortriebskraft) herangezogen werden.
2. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wicklungen als Einzelpolwicklungen (24), (25), (26), (27), (55), (56) mit eigenem Elektronikanschluß (53) ausgebildet sind.
3. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß sich eine Einzelpolwicklung aus einer einzelnen (24) oder mehreren verteilten und miteinander verschalteten Spulen (57), (58) zusammensetzt.
4. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwei oder mehrere benachbarte Einzelpolwicklungen abhängig von der Bestromung magnetische Gegenpole (61), (62), einen gemeinsamen magnetischen Pol (63), (64) oder durch die Überlagerung ein Magnetfeld ausbilden, das sowohl in einen gemeinsamen magnetischen Pol als auch in magnetische Gegenpole zerlegt werden kann.
5. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß sich durch die Bestromung der Einzelpolwicklungen über den Umfang des Stators oder Aktors, oder bei der Ausführung als Linearmaschine über deren Länge, überlagerte magnetische Felder mit unterschiedlichen Polpaarzahlen, insbesondere mit sich um eins unterscheidenden Polpaarzahlen (Fig. 4; Fig. 5 und 6), einstellen lassen.
6. Elektrischer Antrieb nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelpolwicklungen im Stator oder Aktor gemeinsam sowohl ein Drehfeld (bei Linearmaschinen: ein Wanderfeld) der Polpaarzahl p_{ML} erzeugen, dessen Amplitude und Phasenlage zur Regelung der Tragkraft bzw. zur Regelung der Rotor- oder Aktorposition über die Bestromung der Einzelpolwicklungen einstellbar ist, als auch überlagert hierzu ein Drehfeld (bei Linearmaschinen: ein Wanderfeld) oder ein Wechselfeld der Polpaarzahl $p_M = p_{ML} \pm 1$ erzeugen, dessen Amplitude und Phasenlage (bei Wechselfeld: dessen Amplitude) zur Steuerung oder Regelung des Drehmomentes, zur Steuerung oder Regelung der Rotordrehzahl oder der Rotorposition bzw. im Falle der Linearmaschine zur Steuerung oder Regelung der Vortriebskraft oder zur Steuerung oder Regelung der Geschwindigkeit oder der Aktorposition über die Bestromung der Einzelpolwicklungen einstellbar ist.
7. Elektrischer Antrieb nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mit vier konzentrierten Einzelpolwicklungen (24), (25), (26),

(27) ein Drehfeld zur Tragkraftbildung und ein Wechselfeld zur Momenten- bzw. im Falle einer Linearmaschine zur Vortriebskraftbildung erzeugt wird und dadurch gekennzeichnet, daß für den sicheren Anlauf der magnetgelagerten Maschine gegebenenfalls eine Anlaufhilfe, insbesondere in der Gestalt eines unsymmetrischen Blechschnittes (38), eines oder mehrerer Hilfsmagnete (43) oder eines oder mehrerer Kurzschlußringe (52), verwendet wird, oder die günstige Anlaufposition über eine entsprechende Ansteuerung der Einzelpolwicklungen durch Abrollen (67) des Rotors (66) auf der dem Luftspalt zugewandten Statorfläche (65) eingestellt wird.

8. Elektrischer Antrieb nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktor oder Stator des elektrischen Antriebes mit Permanentmagneten, mit einem Kurzschlußkäfig, einer elektrisch hochleitfähigen Metallschiene oder einem Reluktanzschnitt bestückt ist und daß der Aktor bei Rotationsmaschinen in Innenläufer- oder Außenläuferbauweise ausgeführt ist.

9. Elektrischer Antrieb nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor und möglichst auch der Stator scheiben-, ring- oder glockenförmig mit gegenüber den radialen Abmessungen kleinen axialen Abmessungen ausgeführt ist, so daß aufgrund der Kraftwirkung der magnetischen Luftspaltfelder eine stabile passive magnetische Lagerung in axialer Richtung und den beiden Kipprichtungen erfolgt.

10. Elektrischer Antrieb, bestehend aus einer magnetgelagerten elektrischen Maschine mit im Stator oder Aktor eingebrachten Wicklungen für die Drehmoment- (bei Linearmaschinen: Vortriebskraft-) und Tragkraftbildung und einer analogen oder digitalen Elektronik zur Steuerung, Regelung, Überwachung und Speisung der magnetgelagerten Maschine, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronik den Einzelpolwicklungen jeweils einen Strom (79), (80), (81), (82) zur Erzeugung eines Drehmomentes (bei Linearmaschinen: einer Vortriebskraft) und zur Erzeugung einer Tragkraft zur Verfügung stellt.

Hierzu 18 Seite(n) Zeichnungen

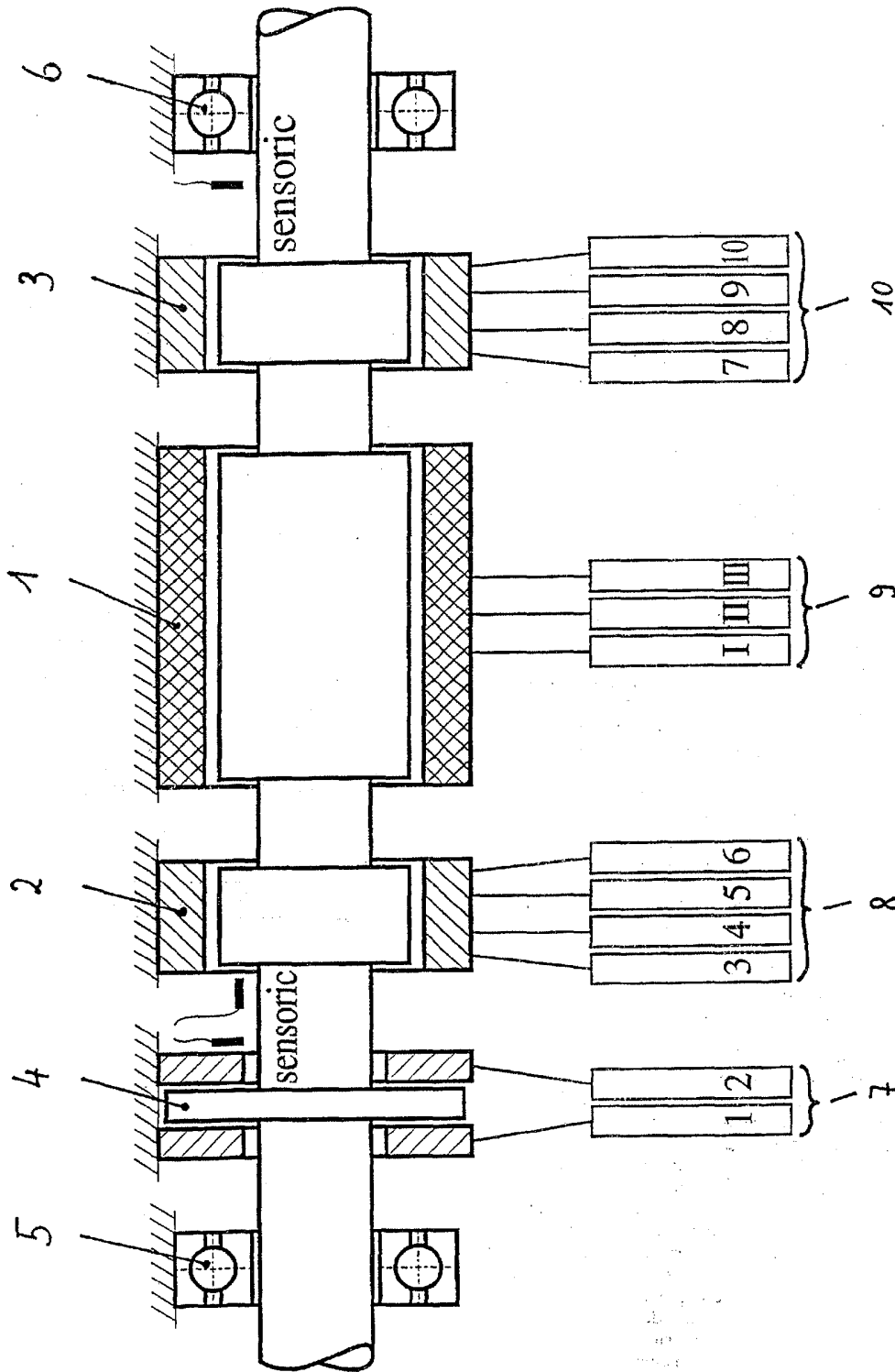


Fig. 1

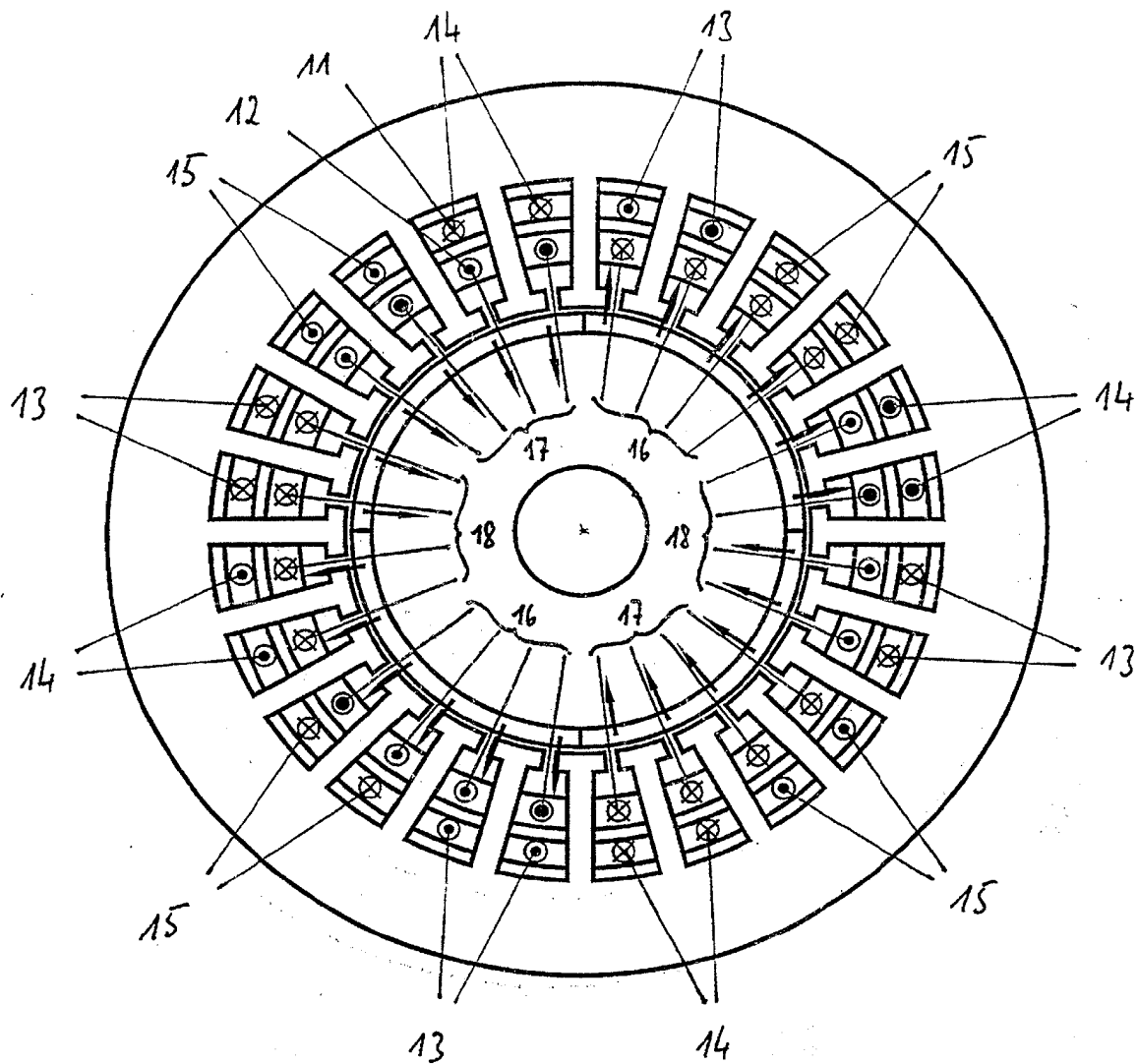


Fig. 2

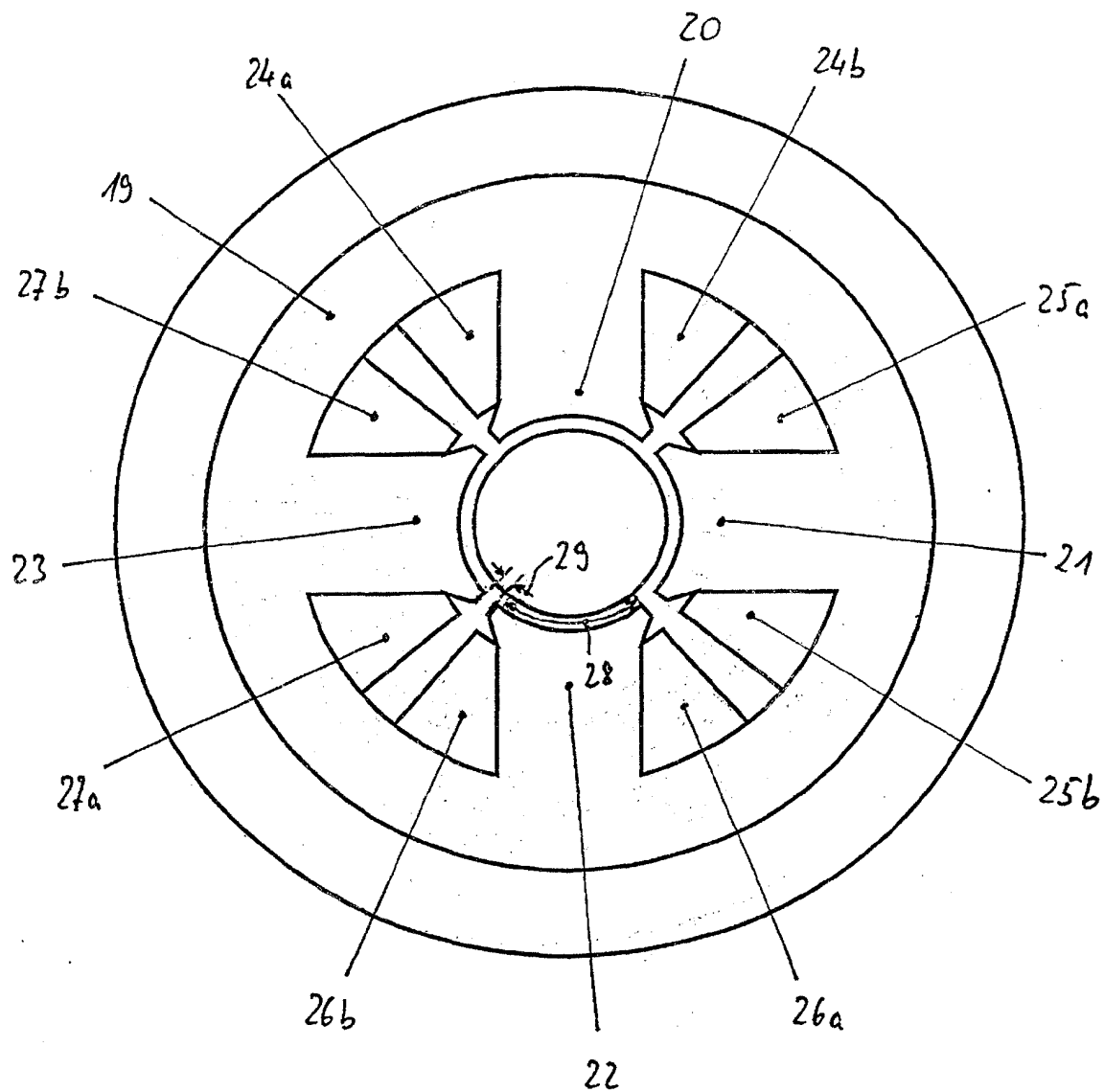


Fig. 3

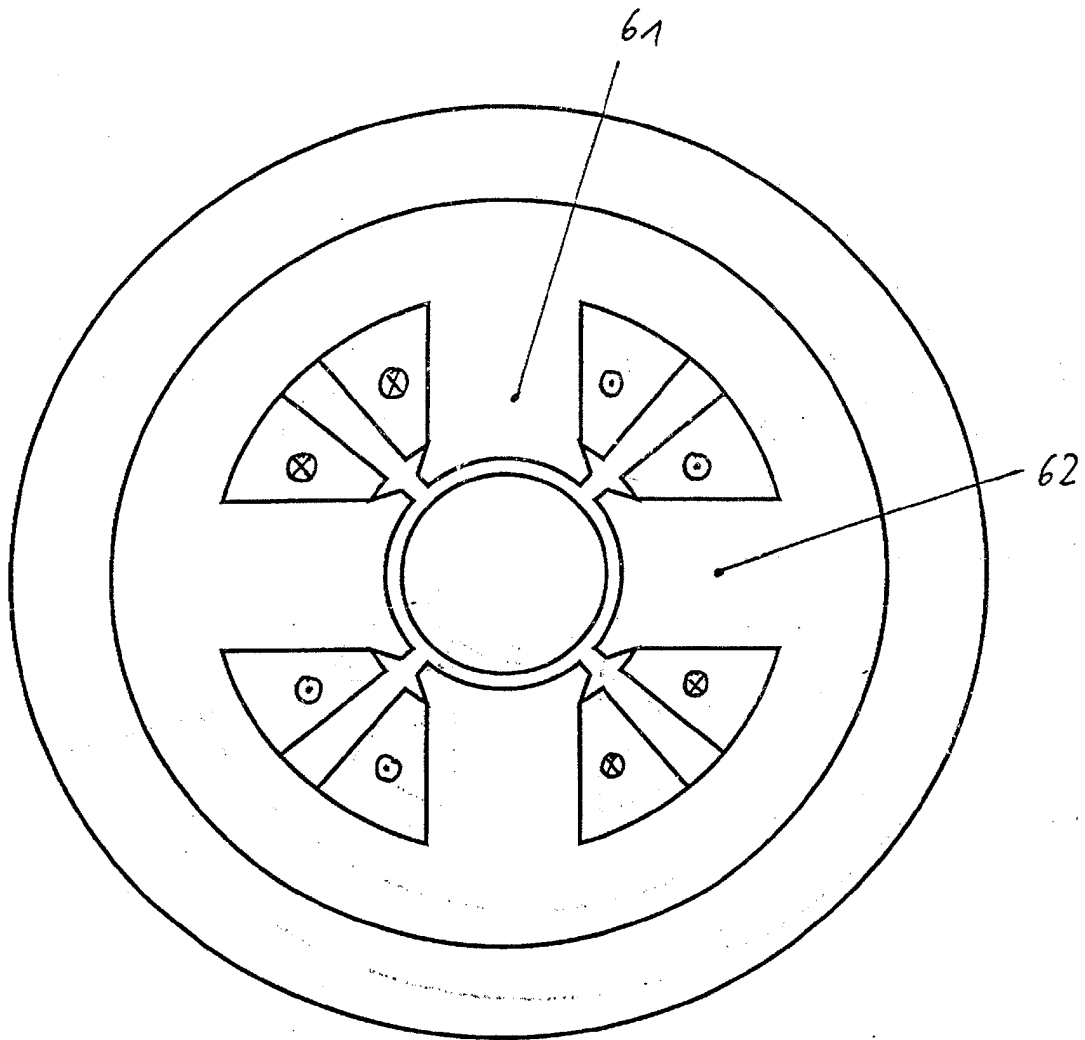


Fig. 4

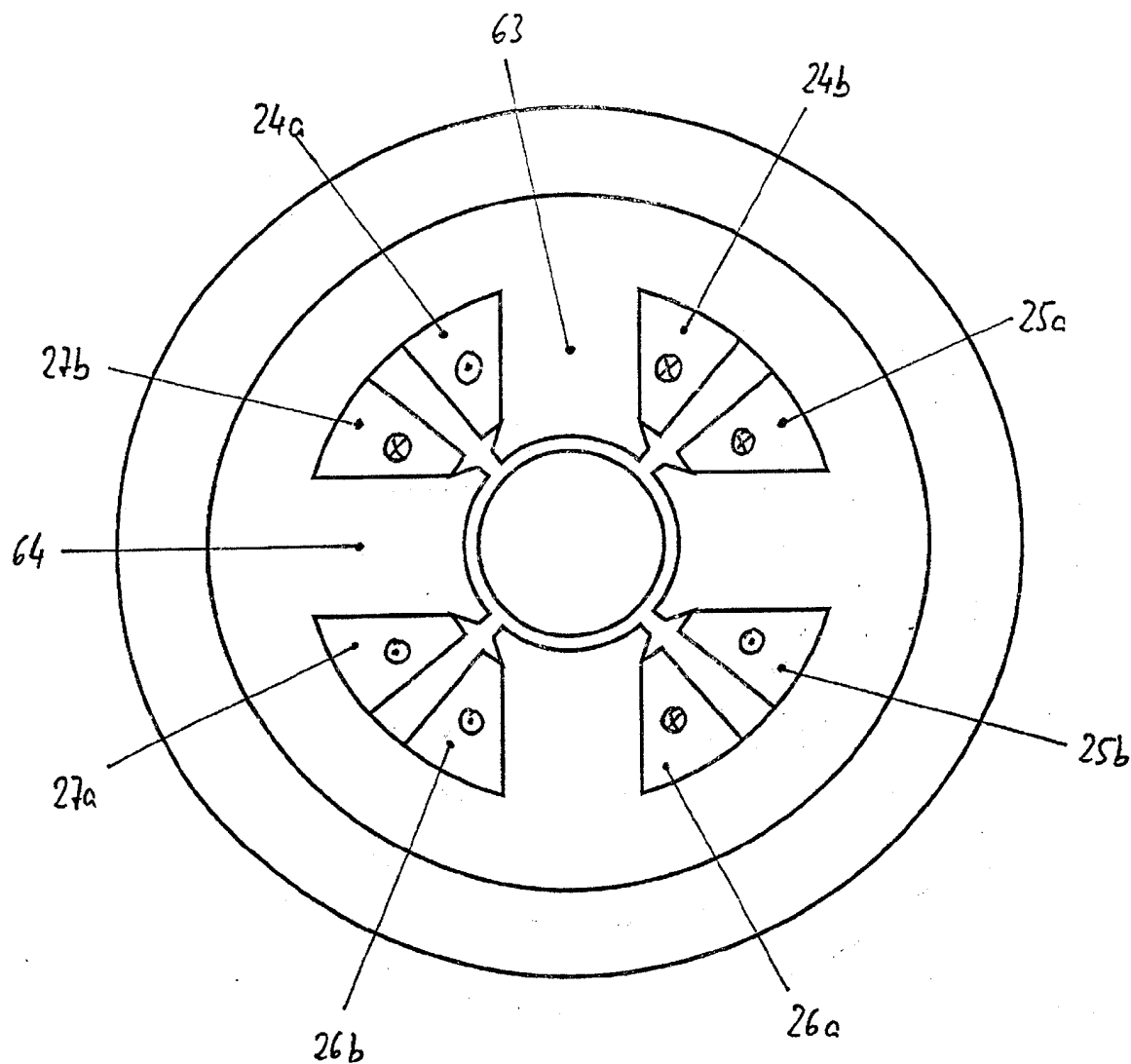


Fig. 5

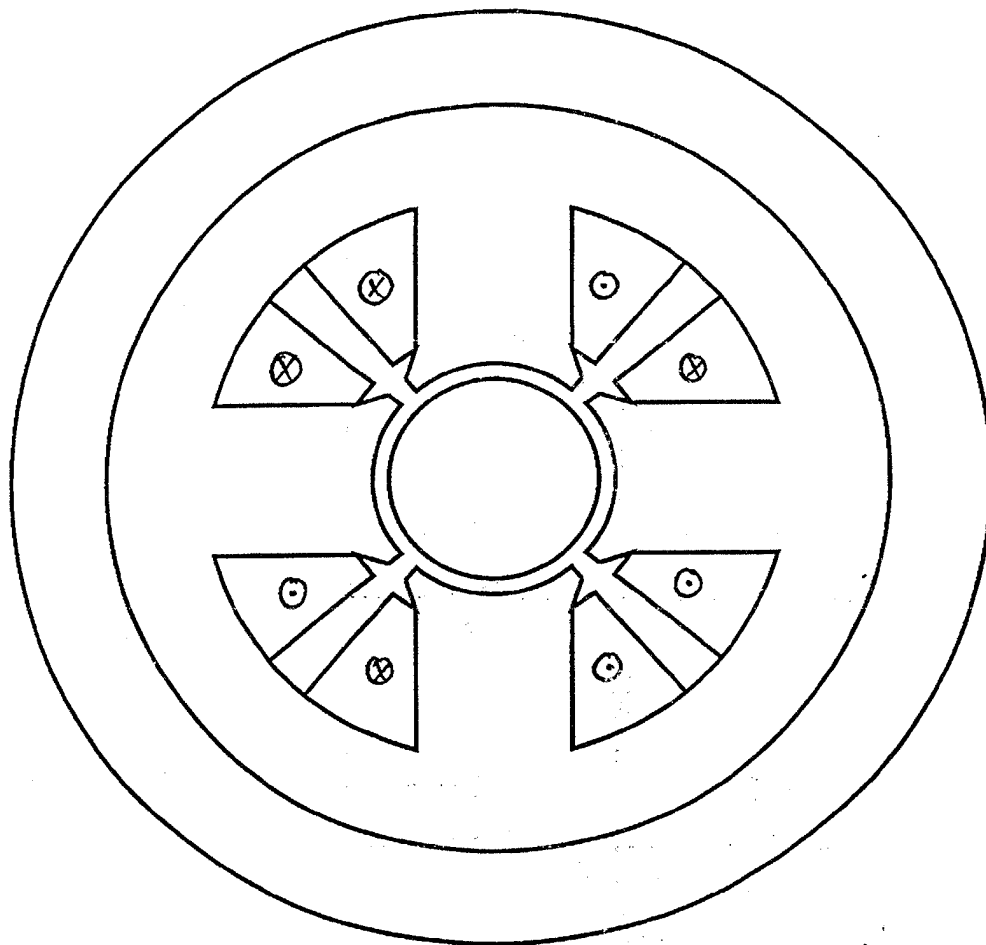


Fig. 6

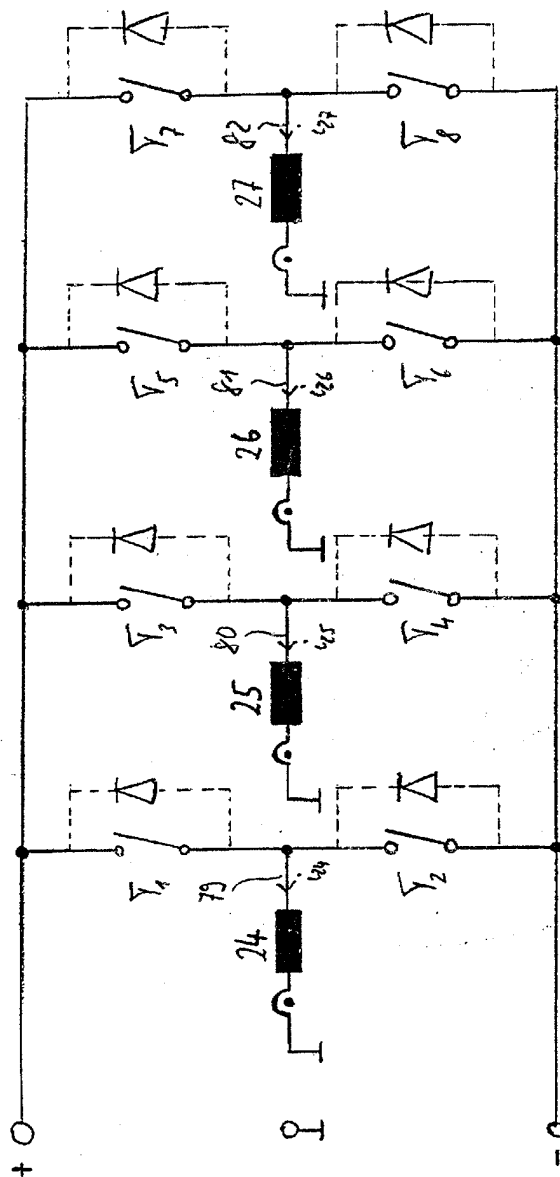


Fig. 7

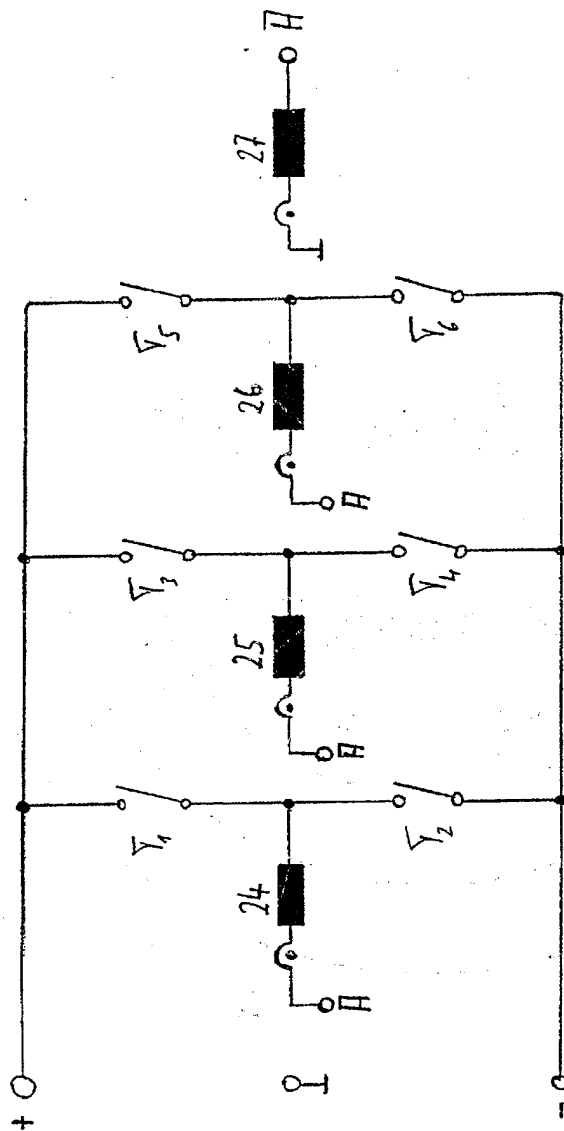


Fig. 8

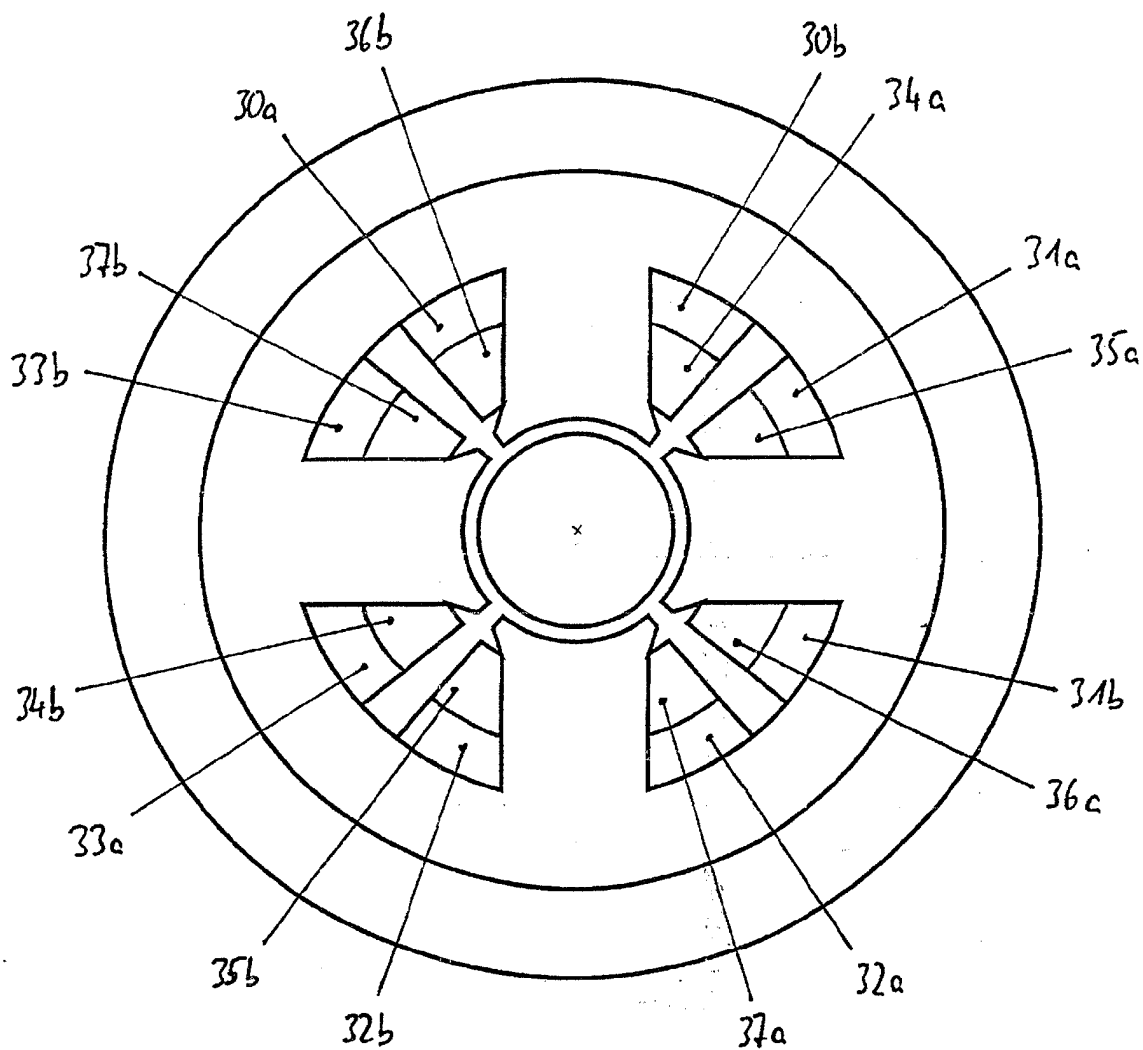


Fig. 9

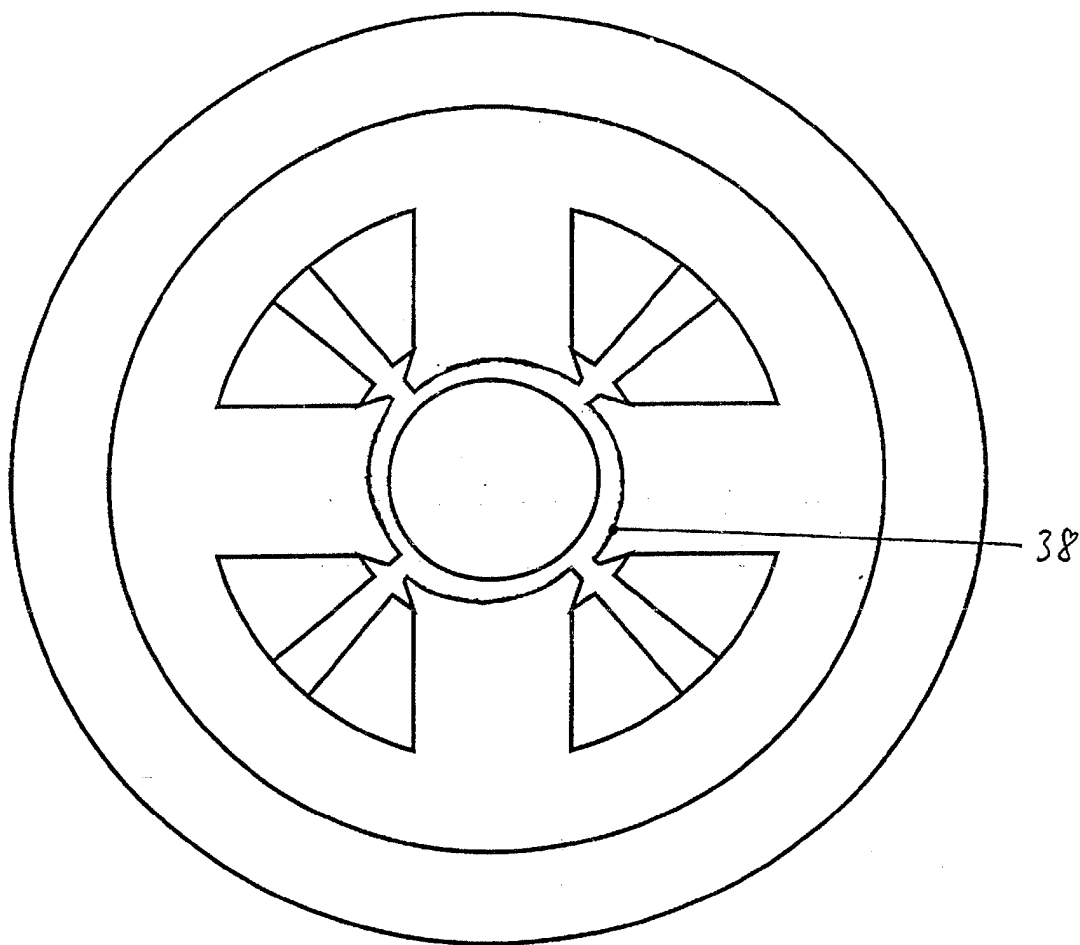


Fig. 10

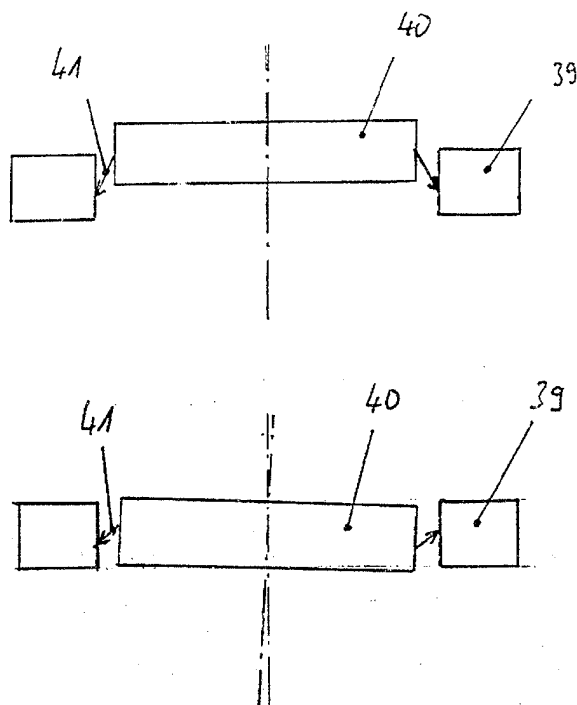


Fig. 11.

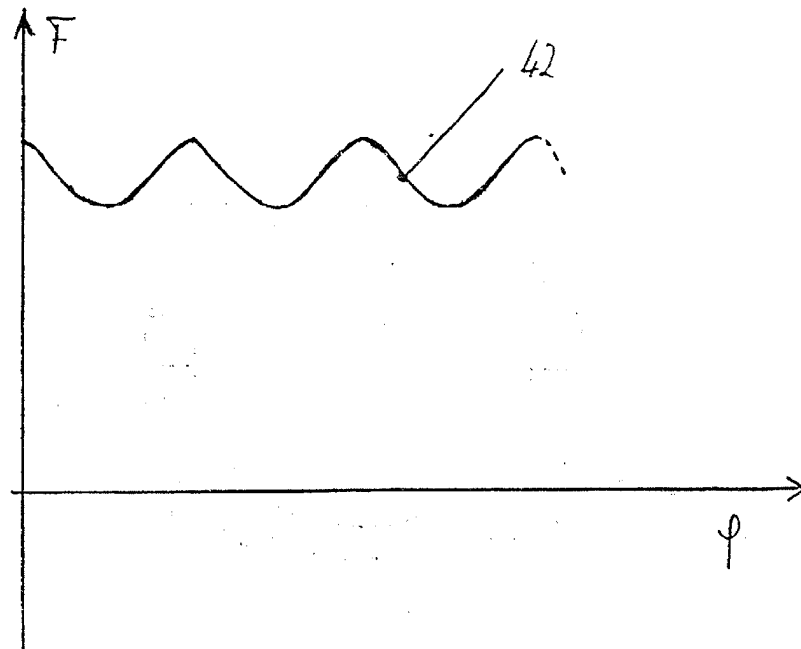


Fig. 12

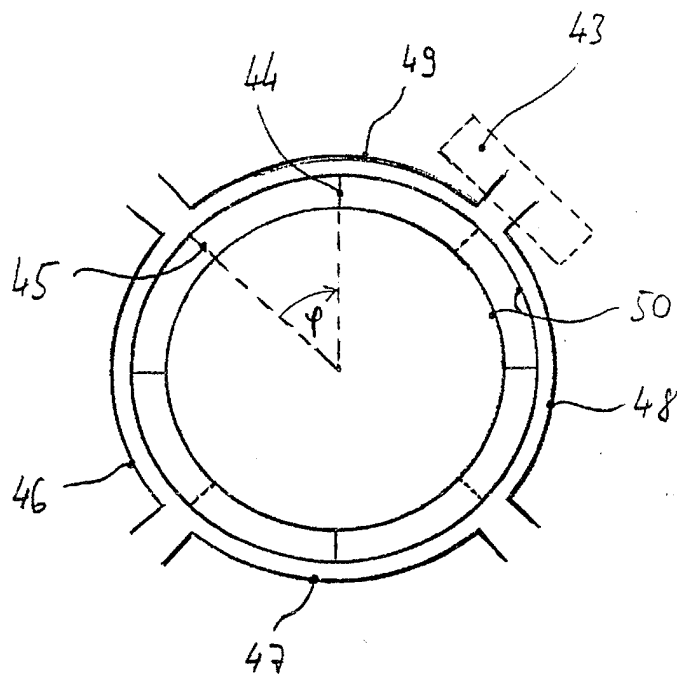


Fig. 13

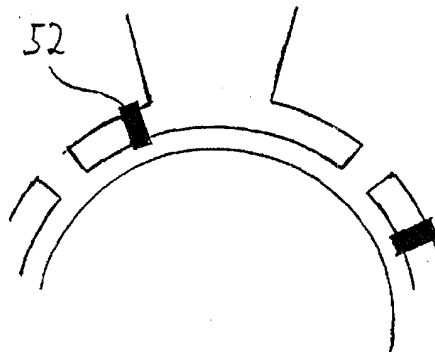


Fig. 14

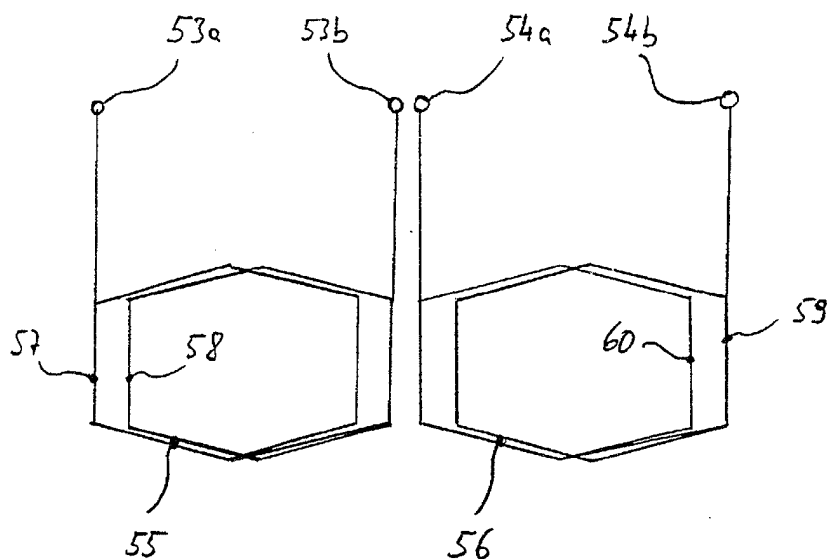


Fig. 15

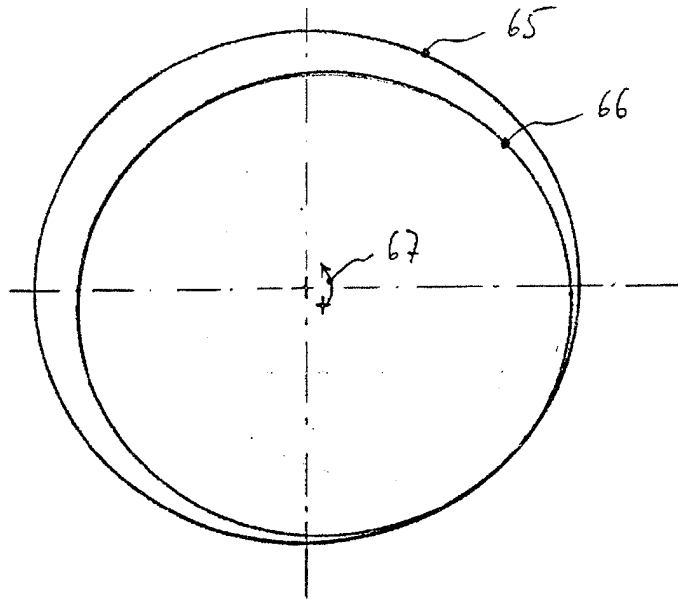


Fig. 16

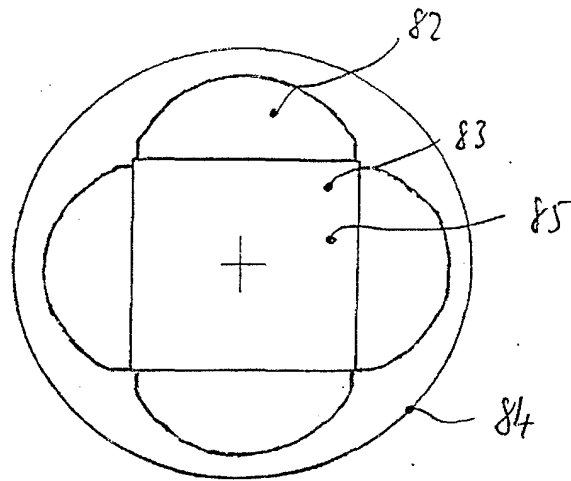


Fig. 17

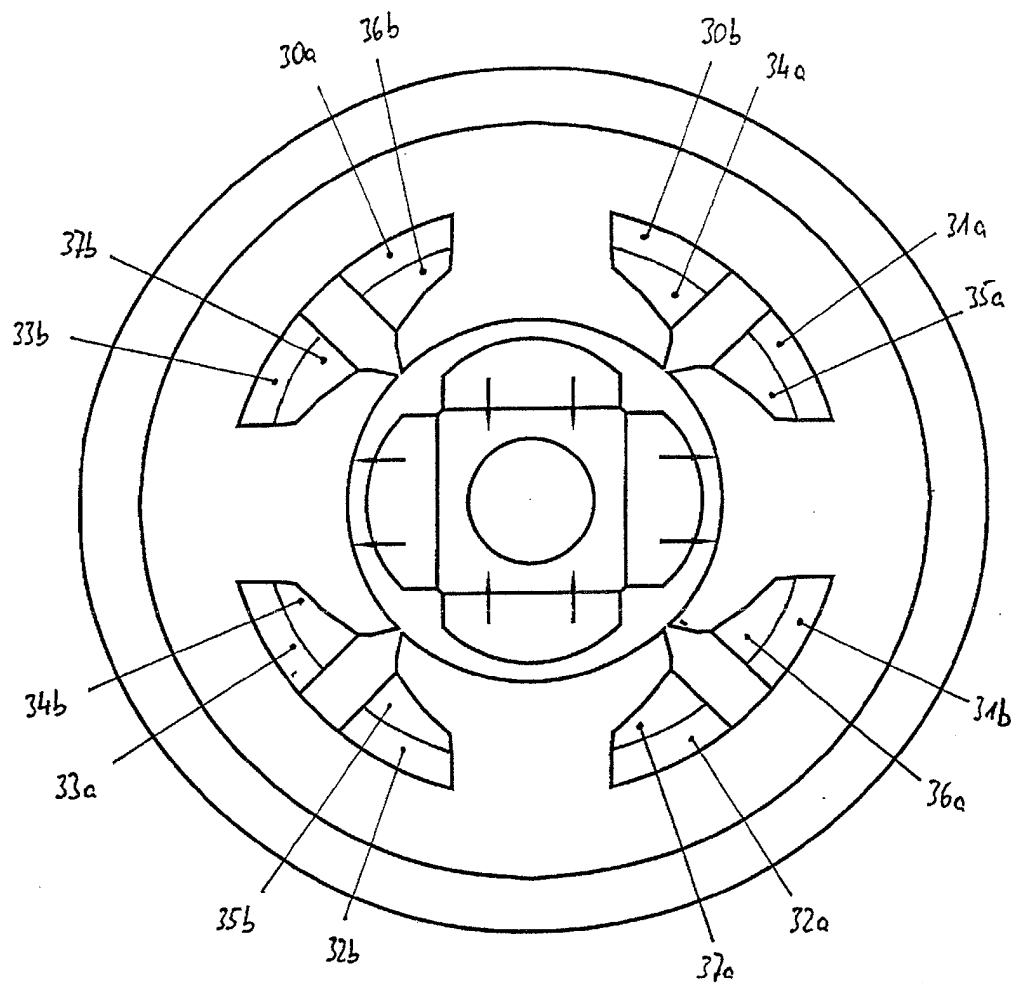


Fig. 18